

Академия наук СССР

Журнал научной и прикладной фотографии и кинематографии

Том 4 Январь 1959 Февраль № 1

Feb

И. В. Анфилов, В. М. Фридкин

К ТЕОРИИ ПРОЯВЛЕНИЯ СКРЫТОГО
ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ



STAT

ЖУРНАЛ
НАУЧНОЙ и ПРИКЛАДНОЙ ФОТОГРАФИИ и КИНЕМАТОГРАФИИ

Том 4

Январь 1959 Февраль

№ 1

И. В. АНФИЛОВ, В. М. ФРИДКИН

К ТЕОРИИ ПРОЯВЛЕНИЯ СКРЫТОГО
ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Существующие методы проявления скрытого электрофотографического изображения [1] можно разделить на две основные группы.

Первая группа методов, которую можно объединить под общим названием «методы сухого проявления», получила свое развитие со временем опубликования первых работ Карлсона [2]. Эти методы, как известно, основаны на явлении трибоэлектрического эффекта [3]. Добавим, что аналогичные методы использовал еще Кундт (1886 г.) при исследовании природы электричества кристаллов [4].

Проявитель в этом случае представляет собой механическую порошкообразную смесь частиц «красителя» (например, асфальта) и «носителя» (например, кварцевого песка, поваренной соли и т. д.). В результате со-прикосновения различных по химическому составу частиц происходит их электризация зарядами противоположных знаков.

При посыпании полученной смесью поверхности диэлектрика, несущего скрытое электрофотографическое изображение, и при условии, что знак заряда частиц красителя противоположен знаку заряда, образующего скрытое изображение, частицы красителя задерживаются только на участках диэлектрика, сохранивших заряд. В результате этого скрытое изображение проявляется.

Вторая группа методов проявления, которые можно объединить под названием «жидкие методы», основана на явлении, по-видимому, впервые использованном для этой цели Меткальфом [5] и заключающемся в заряжении частиц твердого диэлектрика при их диспергировании в жидком диэлектрике, обладающем высокими изоляционными свойствами.

Проявитель в этом случае является механической взвесью или коллоидным раствором красителя (в качестве красителя можно использовать обычную типографскую краску) в соответствующем жидком диэлектрике — бензине, бензоле, толуоле, четыреххлористом углероде.

При погружении в проявитель поверхности диэлектрика, несущей скрытое электрофотографическое изображение, частицы красителя под действием электрического поля, создаваемого распределением зарядов на диэлектрике, движутся в направлении диэлектрика и, осаждаясь на его поверхности, проявляют скрытое изображение.

В свете этого представляет интерес исследование кинетики процесса проявления скрытого электрофотографического изображения.

Осажденные из объема проявителя на поверхность диэлектрика частицы создают двойной электрический слой, образованный с одной стороны зарядами на поверхности диэлектрика, а с другой стороны зарядами самих частиц. В процессе проявления наступает такой момент, когда частицы перестают осаждаться на поверхность диэлектрика и таким образом процесс проявления скрытого электрофотографического изображения заканчивается. Можно считать, что при этом внешнее поле двойного электрического слоя равно пулю. Процесс проявления, идущий до конца в указанном выше смысле, назовем «полным проявлением» скрытого электрофотографического изображения.

К этому следует добавить, что процесс проявления может происходить как в результате образования двойного электрического слоя, так и в результате непосредственной рекомбинации противоположных по знаку зарядов частиц красителя и диэлектрика, несущего скрытое электрофотографическое изображение. Можно считать, что этот вопрос, весьма существенный для понимания специфики процессов проявления в электрофотографии, до сих пор не решен окончательно и его решение представляет самостоятельную задачу.

В настоящей работе авторы основываются на представлении о рекомбинации зарядов, хотя результаты экспериментальных исследований не противоречат и возможности образования двойных электрических слоев.

В пренебрежении силой тяжести напишем дифференциальное уравнение движения частицы красителя под действием электрического поля, создаваемого скрытым изображением:

$$m \frac{d^2z}{dt^2} = 2\pi \left(\sigma_0 - \epsilon q \frac{dz}{dt} t \right) \epsilon - k \frac{dz}{dt}. \quad (1)$$

Здесь m — масса частицы; σ_0 — начальный заряд на поверхности диэлектрика; ϵ — заряд частицы; q — концентрация частиц в единице объема проявителя; k — коэффициент сопротивления по Стоксу; z — текущая координата частицы.

При написании уравнения (1) предполагалось, что заряд частицы красителя одинаков и равен ϵ , причем, как указывалось выше, процесс проявления происходит в результате рекомбинации заряда частиц красителя и противоположного ему по знаку заряда, образующего скрытое электрофотографическое изображение.

Полное проявление наступает в момент, когда плотность заряда на поверхности диэлектрика, несущего скрытое изображение, равна нулю.

При составлении уравнения (1) не учитывалось взаимодействие зарядов частиц красителя, что справедливо в предположении достаточно малой концентрации этих частиц в проявителе.

Член $2\pi(\sigma_0 - \epsilon q \frac{dz}{dt} t) \epsilon$ представляет силу, действующую на заряженную частицу красителя со стороны поверхности диэлектрика, несущего скрытое изображение. При этом предполагается, что электрическое поле, действующее на частицу красителя, является однородным, что накладывает известные ограничения на соотношение между расстоянием частицы красителя от проявляемого участка и размером последнего.

Из сделанных допущений следует, что кинетика процесса проявления скрытого электрофотографического изображения, описываемая дифференциальным уравнением (1), лучше всего отвечает особенностям жидким методов проявления, использующих растворы с малой концентрацией красителя.

Введем обозначения:

$$A = \frac{2\pi\epsilon^2 q}{m}; \quad B = \frac{2\pi\sigma_0\epsilon}{m}; \quad D = \frac{k}{m}. \quad (2)$$

Тогда (1) преобразуется:

$$\frac{d^2z}{dt^2} + (At + D) \frac{dz}{dt} - B = 0. \quad (3)$$

Полученное уравнение решается подстановкой $\frac{dz}{dt} = p$.

В предположении начальных условий $\left[\frac{dz}{dt} \right]_{t=0} = 0$; $[z]_{t=0} = 0$; общее решение этого уравнения может быть представлено в виде:

$$z = B \int_0^t \left[e^{-\left(\frac{At^2}{2} + Dt \right)} \int_0^t e^{\frac{At^2}{2} + Dt} dt \right] dt. \quad (4)$$

Решение (4) может быть представлено в несколько иной форме, если ввести замену переменной $u = \sqrt{A} t$:

$$z = \frac{B}{A} \int_0^{\frac{u}{\sqrt{A}}} \left[e^{-\left(\frac{u^2}{2} + \frac{D}{\sqrt{A}} u\right)} \int_0^{\frac{u}{\sqrt{A}}} e^{\frac{u^2}{2} + \frac{D}{\sqrt{A}} u} du \right] du. \quad (5)$$

Выражение (5) позволяет определить время, необходимое для осуществления полного проявления. Как следует из данного выше определения, полное проявление наступает в результате рекомбинации противоположных по знаку зарядов частиц красителя и диэлектрика, в момент, когда плотность заряда на поверхности диэлектрика становится равной нулю. Легко видеть, что это имеет место в тот момент, когда на единицу заряженной поверхности диэлектрика с зарядом σ_0 осадут все частицы красителя, заключенные в объеме цилиндра с площадью основания, равной единице, и высотой z_0 , причем

$$z_0 = \frac{\sigma_0}{\epsilon q}. \quad (6)$$

Подставляя $z = z_0$ в выражение (5) и раскрывая значение постоянных A , B и D , получим выражение (7), которое содержит время полного проявления $t_{\text{п}} = \frac{u_{\text{п}}}{\sqrt{\frac{2\pi\epsilon^2 q}{m}}}$,

$$\int_0^{\frac{u_{\text{п}}}{\sqrt{\frac{2\pi\epsilon^2 q}{m}}}} \left[e^{-\left(\frac{u^2}{2} + \frac{k}{\sqrt{\frac{2\pi\epsilon^2 q m}{m}}} u\right)} \int_0^{\frac{u_{\text{п}}}{\sqrt{\frac{2\pi\epsilon^2 q}{m}}}} e^{\frac{u^2}{2} + \frac{k}{\sqrt{\frac{2\pi\epsilon^2 q m}{m}}} u} du \right] du = 1. \quad (7)$$

Из выражения (7) следует основной вывод о том, что время полного проявления $t_{\text{п}} = \frac{u_{\text{п}}}{\sqrt{\frac{2\pi\epsilon^2 q}{m}}}$ не зависит от начального заряда скрытого

электрофотографического изображения σ_0 и определяется только свойствами самого проявителя.

В свою очередь, из этого следует, что полное проявление всех участков скрытого изображения, несущих различный по плотности заряд, происходит за одинаковое время, что означает одновременность проявления всех полутоонов скрытого электрофотографического изображения.

Рассмотрение общих вопросов, связанных с кинетикой проявления скрытого электрофотографического изображения, может быть проведено с помощью выражения (5).

ЛИТЕРАТУРА

1. Фридкин В. М., Делова А. И., Герасимова Т. Н., Билялетдинов Х. С., Ж. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр., 1957, 2, 286.
2. Carlson C. F., US. Pat., № 2, 297, 691 и № 2, 357, 809; Photogr. Age, 1949, March, 10.
3. Половинов К. М., Физические основы электротехники, 1950.
4. Шубников А. В., Флинт Е. Е., Бокий Г. Б., Основы кристаллографии, 1950.
5. Metcalfe K. A., J. Scient. Instrum., 1955, 32, 74.

Научно-исследовательский
институт полиграфического
машиностроения

Поступила в редакцию
28.III.1958